HEINRICH HERTZ:
DE LA FÍSICA A LA FILOSOFÍA DE LA FÍSICA

Álvaro Balsas, SJ
Universidad Católica Portuguesa. Braga

Resumen: En su "proceso de conversión a las ondas hercianas", partiendo de sus estudios sobre electrodinámica, Hertz elaboró una reflexión filosófica, de raíz kantiana, sobre el estatuto, objetivos, finalidad, resultados y límites de una teoría física, últimamente reconducible a leyes simples de la mecánica. Dado que los *mismos* fenómenos físicos pueden ser descritos por una *multiplicidad* de teorías — que son "imágenes" o "representaciones" de la estructura legal de las relaciones causales de objectos reales —, ellas no dicen como es ontológicamente la naturaleza, sino como la vestimos para conocer correctamente las *previsiones* experimentales, sin ambigüedad. Consecuentemente, los experimentos testan la *corrección* (validad) de una teoría y no su *veracidad*. Para elegir entre teorías-imagen y llegar a su núcleo más simple y común, Hertz presenta tres criterios metodológicos, exigiendo a la vez que la estructura teórica de los principios de la mecánica sea hipotético-deductiva. Su propuesta consiste, pues, en juntar una filosofía con una geometrización de la mecánica.
Palabras Clave: teoría física, mecánica, electrodinámica, campo electromagnético, ondas hercianas, imagen (*Bild*), representación (*Darstellung*), concepto (*Vorstellung*), geometría riemanniana, masas ocultas, Maxwell, Helmholtz.
Abstract: In his "process of conversion to Hertzian waves", starting from his studies on electrodynamics, Hertz elaborated a philosophical reflection, of Kantian roots, on the status, objectives, purpose, results, and limits of a physical theory, ultimately traced back to simple laws of mechanics. Since the *same* physical phenomena can be described by a *multiplicity* of theories — which are "images" or "representations" of the legal structure of the causal relations of real objects —, they do not say how nature ontologically is, but how we dress it to correctly know the experimental *predictions*, without ambiguity. Consequently, experiments test only the *correctness* (validity) of a theory and not its *veracity*. To choose between image-theories and arrive at their simplest and most common nucleus, Hertz presents three methodological criteria, demanding, at the same time, that the theoretical structure of the principles of



mechanics be hypothetical-deductive. His proposal consists, then, in joining a philosophy with a geometrization of mechanics.
HEINRICH HERTZ: FROM PHYSICS TO PHYSICS PHILOSOPHY
Key Words: physical theory, mechanics, electrodynamics, electromagnetic field, Hertzian waves, image (*Bild*), representation (*Darstellung*), concept (*Vorstellung*), Riemannian geometry, hidden masses, Maxwell, Helmholtz.
Recibido: 7 de julio de 2021
Aceptado: 6 de octubre de 2021
DOI 10.24310/NATyLIB.2021.vi15.12962

1. Introducción

Heinrich Hertz (1857-1894) es sobre todo conocido por su descubrimiento de la existencia de las ondas hercianas o electromagnéticas. Sabemos bien cuanto la ciencia (astrofísica, física de partículas, nano y neuro ciencias), la técnica (terapias médicas) y las telecomunicaciones de nuestras sociedades actuales están dependientes de esa luminosa descubierta. Hertz descubrió también el "efecto fotoeléctrico", una de las bases experimentales de la física cuántica.

Pero, cuando se le compara con otros físicos coetáneos, que trabajaran, como él, en electrodinámica — como Kelvin, Maxwell o Lorentz —, Hertz no es considerado una de las figuras más importantes. Sin embargo, el físico irlandés George F. FitzGerald pudo afirmar en 1896: "cualquier cosa escrita por él, es de interés".

Esta apreciación de FitzGerald no solo es muy reveladora de la calidad de los escritos de Hertz, reconocida ampliamente por los físicos de su tiempo, sino también de su más profundo espíritu de genialidad y talento, ya sea como físico experimental y teórico o como filósofo de la ciencia, que supo reflexionar, con elevado vigor lógico-racional, sobre los resultados, la estructura y el objetivo de una teoría científica, así como sobre la relación entre esta y la observación experimental.

Sus estudios científicos y filosóficos se desarrollan según una trayectoria que parte de la electrodinámica, algunos recopilados en *Electric Waves* (EW), hasta su última obra, *Principles of Mechanics* (PM).

En los *Principios de Mecánica* es donde se detecta con más nitidez la hondura de sus reflexiones epistemológicas, influenciadas por el pensamiento kantiano. Ahí se afirma, por primera vez en la historia de la física, que los *mismos* fenómenos físicos de la naturaleza pueden ser descritos y explicados por una *multiplicidad* de teorías, que son "imágenes" o "representaciones", construidas por nosotros, las cuales usamos como "modelos dinámicos" de la evolución de los sistemas naturales. Estas ideas han anticipado la filosofía de la ciencia del siglo XX e influenciado a autores como Wittgenstein (en su teoría del significado, que es central en el *Tractatus*, cita explícitamente a Hertz en las proposiciones 4.04 y 6.361), Carnap, Lorentz, Einstein, Schrödinger y Cassirer. No es de extrañar, por lo tanto, que Hertz fuera considerado "el más filosóficamente profundo entre los grandes físicos del siglo XIX que escribieron sobre filosofía de la ciencia" (Braithwaite, 1953: 90). Y que fuera muy acertadamente apellidado de "físico clásico y filósofo moderno" (Baird *et. al.*, 1998). Efectivamente, Hertz ha sido precursor de la filosofía contemporánea de la ciencia.

2. Vocación científica y filosófica

Hertz nació en Hamburgo el 22 de febrero de 1857, siendo el primogénito de cuatro hermanos de una familia acomodada de ascendencia judía, que se había convertido al cristianismo luterano. Su padre, el abogado Gustav Ferdinand Hertz, fue senador y presidente de la audiencia. Su madre, Anna Elisabeth Pfefferkorn, era hija de un médico militar de Frankfurt, con inclinaciones culturales y artísticas, que transmitió a sus hijos. A los tres años, Heinrich recita a su madre el centenar de fabulas que ella le había ido leyendo, sorprendiéndole, así, con su prodigiosa memoria. A los seis años inicia sus estudios primarios en la escuela privada de Richard Lange, donde permanece hasta los 15 años, edad con la que hace su confirmación luterana. En sus estudios humanísticos y secundarios demostró dotes sobresalientes para todas las materias, especialmente matemáticas y facilidad para lenguas (principalmente griego, latín y árabe). Con el torno que sus padres le regalaran para las clases particulares en casa construyó sus primeros aparatos de física, entre ellos un espectroscopio. Para combinar sus intereses teóricos y su notable destreza para

actividades prácticas y manuales se decide, aunque sin total convicción, a ingresar en estudios de ingeniería, en 1876, en el Politécnico de Dresden. Aquí, se deja cautivar por el estudio de las matemáticas (cálculo diferencial e integral y mecánica analítica) y por la historia de la filosofía, estudiando varias obras de Kant, particularmente su *Crítica de la Razón Pura*, obra que irá influenciar su pensamiento futuro. Tras un año para hacer el servicio militar en Berlín, retoma en octubre de 1877 sus estudios de ingeniería en la Escuela Politécnica de Múnich, pero el 1 de noviembre, escribe a sus padres comunicándoles su insatisfacción:

> [...] no entiendo como no me he dado cuenta antes, pues vine aquí con la mejor intención de estudiar matemáticas y ciencias naturales [...]. Preferiría ser un científico eminente a ser un ingeniero eminente, pero preferiría ser un ingeniero mediocre a ser un científico mediocre. Se me dices que debo estudiar ciencias, lo recibiré como un gran regalo tuyo (MLD, 73).

Ante la confirmación de su padre, se matriculó inmediatamente la Universidad de Múnich para cursar física. El profesor Philipp von Jolly le trazó un plan a su medida, con estudios de matemática y mecánica, en particular con la lectura de obras de Lagrange, Laplace, Montucla, Newton y Leibniz, que le permitirán reflexionar sobre los principios de mecánica y los conceptos de *fuerza*, *espacio*, *tiempo* y *movimiento*. Hizo también algunas clases de laboratorio de física y de química. Al final de su primer año, estando insatisfecho con el nivel de estudios de física, se trasladó en 1878 a la universidad de Berlín, onde el laboratorio de física de von Helmholtz, montado en 1870, era considerado el mejor de Alemania y tal vez del mundo.

3. Las dos formas de la electrodinámica

En Berlín sigue las clases teóricas de Kirchhoff sobre electricidad y magnetismo y las de Borchardt sobre mecánica analítica. Helmholtz le informa de la convocatoria de un premio ofrecido por la Facultad de Filosofía para mostrar experimentalmente “si la electricidad se mueve en los cuerpos

(conductores) con masa inerte". Al final de seis meses, Hertz entrega la respuesta a este trabajo sobre la inercia eléctrica, vence el premio y sus resultados son publicados en *Annalen der Physik*.

Notemos que este trabajo experimental se insería en las disputas al tiempo entre *dos teorías explicativas* de los *fenómenos* eléctricos y magnéticos: la electrodinámica de Ampère-Weber, de corte newtoniano, que los explicaba mediante *acciones a distancia*, con velocidad infinita, entre cargas y corrientes eléctricas; y la teoría de Faraday-Maxwell, que los explicaba mediante propagaciones de campos electromagnéticos, es decir, acciones difundidas, con la velocidad finita de la luz, por todos los puntos del espacio, incluyendo el vacío (mediante la sustancia sutil del *éter*), capaces de actuar sobre cargas y corrientes colocadas en ellos. Helmholtz había publicado, en 1870, una *re-interpretación* de la teoría de Maxwell (por esta contener elementos poco claros), como una (tercera) teoría electrodinámica más, pero que daba cuenta de la formación de ondas de polarización en dieléctricos del tipo de las ondas de luz de Maxwell. El trabajo de Hertz corroboraba, así, la teoría de Helmholtz basada en potenciales de interacción y falsificaba la de Weber de acción a distancia.

Tras declinar la propuesta de Helmholtz de trabajar para su tesis doctoral sobre un nuevo premio, convocado por la Academia de Ciencias de Berlín, para "Establecer experimentalmente alguna relación entre fuerzas electrodinámicas y la polarización eléctrica de los aislantes", Hertz se decidió por una tesis teórica "Sobre la inducción electromagnética en esferas conductoras que giran", alcanzando la notable e inusual calificación de "*magna cum laude*". Quedaba, todavía, en su mente el problema planteado por la Academia, que sería el punto de partida de sus trabajos futuros en Karlsruhe.

Los tres años siguientes, como asistente de Helmholtz, publica una serie de artículos de temas muy diversos, teóricos y experimentales. En 1883 es profesor no numerario (*Privatdozent*) en la universidad de Kiel, onde estudia detenidamente el *Tratado de Electricidad y Magnetismo* de Maxwell de 1873.

4. Conversión conceptual a las ondas electromagnéticas

Ya catedrático de la Escuela Técnica Superior de Karlsruhe (1885-89), Hertz emprende la realización, intensa y muy creativa, de estudios experimentales, con publicación de varios artículos, mostrando la existencia y propagación de ondas electromagnéticas en el aire con velocidad finita (EW, 7), que permiten aceptar la teoría de Maxwell y le dieron la fama mundial. Esos artículos, recopilados, con algunas correcciones, en *Electric Waves* (1992), van precedidos de una Introducción, conteniendo comentarios filosóficos, que constituyen el germen de lo que será su futura filosofía de la ciencia.

En este intenso trabajo experimental, Hertz, a nivel teórico-conceptual, sufre un verdadero "proceso de conversión a las ondas hercianas" (Doncel, 1990: 21), en el cual va cambiando gradualmente su interpretación de los resultados experimentales. De inicio (octubre, 1886), en su trabajo experimental — enraizado en el premio de la Academia de Berlín de 1879 y concebido en términos helmholtzianos —, su concepción es electrodinámica (tradición de Ampère, Weber y Helmholtz). Al final (primavera-verano de 1888), Hertz llega ya a una concepción maxwellina de campo electromagnético (EW, 15, 20-21), visiblemente expresa en su artículo "Las fuerzas de las oscilaciones eléctricas, tratadas según la teoría maxwelliana" (EW,137; Doncel 1990, 1998). Hertz se coloca claramente a favor de la *simplicidad* de la teoría de Maxwell, que contrasta con la *artificialidad* de la teoría de Helmholtz (que en su caso límite, conducía a las ecuaciones de Maxwell), a la cual designa por "representación" (*Darstellung*) de Helmholtz del "concepto" (*Vorstellung*) de Maxwell.

Reflexionando *a posteriori* sobre el proceso de sus investigaciones, Hertz llega a una distinción esencial entre la *matemática* de Maxwell y su *significado* (o concepto) *físico*, el cual al comienzo no lo había captado bien (EW, 20-21). Es decir, la matemática constituye el "significado interno" de una teoría, formando el *núcleo común* de las diferentes concepciones físicas que constituyen las *diversas representaciones* de la misma teoría, tal como lo expresa Hertz:

> Por tanto, la representación de la teoría en la propia obra de Maxwell, su representación como un caso límite de la teoría de Helmholtz y su representación en las

> presentes disertaciones, por *diferentes* que sean *en su forma*, tienen sustancialmente *el mismo significado interno*. Este *significado común* de los *diferentes modos (formas) de representación* (y sin duda se pueden encontrar otros) me parece que es *la parte imperecedera* de la obra de Maxwell. Esto, y no las concepciones o métodos peculiares de Maxwell, lo designaría como "*la teoría de Maxwell*". A la pregunta, "¿Cuál es la teoría de Maxwell? "No conozco una respuesta más corta, o más definida, que la siguiente: *La teoría* de Maxwell es *el sistema de ecuaciones* de Maxwell. Toda teoría que conduce al mismo sistema de ecuaciones y, por tanto, comprende los mismos fenómenos posibles, la consideraría como una forma o un caso especial de la teoría de Maxwell; toda teoría que conduce a diferentes ecuaciones y, por tanto, a diferentes fenómenos posibles, es una teoría diferente (EW, 21; cursivas nuestras).

Así, Hertz distingue, en su concepción de la teoría como imagen (*Bild*), entre dos significados para el término teoría: "*teoría* = sistema de ecuaciones", es decir, el núcleo de la teoría que tiene validad perene y se refiere a los mismos fenómenos, siendo común a las varias representaciones históricas; y "*Teoría* = matemática + representación (*Darstellung*)" (D'Agostino, 1998: 90).

Dado que cada representación de la misma teoría podría contener inconsistencias entre sus conceptos, originados por "nuestro poder de *imaginación*", Hertz busca "limitar al máximo posible el número de concepciones que son arbitrariamente introducidas por nosotros, sólo admitiendo elementos que no pueden ser eliminados o alterados, sin alterar, al mismo tiempo, los posibles resultados experimentales" (EW, 28). Resulta, entonces, que "la teoría adquiere un aspecto *muy abstracto e incoloro*". Pero, la precisión científica requiere que no confundamos "la *figura sencilla y familiar*, tal como *nos la presenta la naturaleza*, con el *traje vistoso* que usamos para vestirla" (EW, 28). Hay, pues, que eliminar las "ideas superfluas y rudimentarias" (físicas y matemáticas) para reconstruir *axiomáticamente* la teoría de Maxwell, limitándola a cuatro ecuaciones fundamentales. Estas constituirán la base de un sistema deductivo, estableciendo "relaciones entre magnitudes físicas que son efectivamente observadas y no entre magnitudes que sirven simplemente para el cálculo" (EW, 196).

Resumiendo, la distinción esencial, entre ecuaciones matemáticas sin "coloridos" y la necesidad de concepciones físicas, es la clave que le permite a Hertz entender la relación entre teoría y observaciones experimentales, la cual le guiará en sus investigaciones futuras (Nordmann, 2000: 547) en Bonn.

5. Los **Principios de Mecánica** *y la pérdida del mundo en la imagen*

En Bonn (1889-93), Hertz completa sus trabajos experimentales con investigaciones teóricas sobre la propagación eléctrica. Los últimos dos años y medio de su vida los dedica a trabajar en sus *Principios de Mecánica Presentados en una Nueva Forma*, publicados ya póstumamente, pues muere con una septicemia, resultante de una granulomatosis con poliangitis, con 36 años, el 1 de enero de 1994.

Los *Principios* nacen en el seno de la controversia, entre físicos de su tiempo, sobre los fundamentos y conceptos fundamentales (espacio absoluto, éter, inercia, masa, etc.) de la mecánica (Coelho, 2012: 18ss). En este contexto, Hertz clarifica que "la tarea de la física es reconducir los fenómenos de la naturaleza a las leyes simples de la mecánica" (PM, xxi). Proponiendo una nueva forma de sistematizar los principios de esta ciencia, despojándola de conceptos fundamentales obscuros, como el de fuerza, Hertz presenta como la *novedad* de su obra el aspecto *lógico* o *filosófico*. En efecto, su propuesta consiste en juntar una filosofía de la ciencia con una geometrización de la mecánica (Lützen, 1998; 2005). Los *Principios* incluyen un Prefacio, una Introducción (onde Hertz desarrolla su visión de la filosofía de la ciencia, que ya estaba en germen en EW) y dos libros: el primero tata de juicios *sintéticos a priori* y el segundo de la relación con la *experiencia*.

Para Hertz, la *finalidad* del conocimiento científico de la naturaleza es la *previsión* de experiencias futuras, utilizando las pasadas, para organizar nuestro presente. Para tal, hacemos "imágenes mentales o símbolos de los objectos externos, de tal modo que las consecuencias de esas imágenes, en el pensamiento, son siempre las imágenes de las consecuencias necesarias, en la naturaleza, de las cosas representadas" (PM, 1). Hertz, asume, pues, un isomorfismo o "cierta conformidad", dictada por la experiencia, entre secuencias de pensamientos y de eventos de la naturaleza. Se trata, por lo tanto, de una

conformidad empírica o “corrección”, entre las imágenes — “nuestras representaciones de las cosas” — y las cosas, pero bajo *el único* aspecto de la previsión, pues, “no sabemos, ni tenemos ningún medio de saber, si nuestras representaciones de las cosas están en conformidad con ellas en cualquier otro que no sea este *único* aspecto fundamental” (PM,2). Parece, pues, darse una “pérdida del mundo en la imagen” (Schiemann, 1998). Notemos que hay en esta concepción hertziana una resonancia con la distinción kantiana entre los fenómenos y las cosas mismas. Para Hertz, pues, una teoría física es una imagen (*Bild*) o representación (*Darstellung*) construida por nosotros, no reductible a aspectos de la experiencia, una vez que requiere también una “imaginación científica”. En efecto, dado que el requisito del isomorfismo de las dos secuencias *no* determina *unívocamente* la formación de las imágenes (es decir, hay *subdeterminación* de la teoría por la experiencia), pues “son posibles varias imágenes de los mismos objetos, y estas imágenes pueden diferir en varios aspectos”, entonces, se siguen tres postulados o criterios metodológicos a que las imágenes deberán jerárquicamente obedecer:

1. *Permisibilidad lógica (o consistencia):* las imágenes no pueden contrariar las “leyes de nuestro pensamiento”, es decir, tienen que ser consistentes o no contradictorias.

2. *Corrección*: sus relaciones esenciales no pueden contradecir las relaciones de las cosas externas, o sea, sus consecuencias deben ser compatibles con los resultados (actuales) de la experiencia.

3. *Adecuación o conveniencia (distinción y simplicidad):* es más adecuada o conveniente aquella imagen que describe más relaciones *esenciales* de los objectos (la más *distinta*) y que contiene menos “*relaciones superfluas o vacías*” (la más *simples*). (PM, 2)

Ahora bien, como el conocimiento maduro asigna importancia *central* a la *claridad lógica*, se comprende que la aplicación jerárquica de estos tres criterios se haga de tal modo que “sólo las imágenes lógicamente claras sirven para demostrar la corrección y las imágenes correctas permiten decidir sobre la adecuación” (PM, 10). Además, los tres criterios permiten “distinguir completa y precisamente entre los elementos de la imagen que surgen de las necesidades del pensamiento, de la experiencia y de la elección arbitraria”

(PM, 8). Notemos que los elementos de elección arbitraria, evaluados por el criterio de adecuación, surgen *inevitablemente* (en las designaciones, definiciones y abreviaciones), originando en las imágenes "relaciones superfluas y vacías", las cuales tienen origen en el hecho de que "las imágenes son simplemente imágenes, es decir, producto de nuestra mente" (PM, 2). Así, solamente mediante progresivos testes, en el tiempo, de varias imágenes, podemos finalmente tener éxito en obtener la más adecuada (PM, 3). Y de este modo se puede evaluar el valor de una teoría física y de sus representaciones.

Otro elemento de la filosofía de Hertz es exigir que la *estructura* de una *teoría* de los principios de la mecánica sea *hipotético-deductiva*. Es decir, el *todo* de la teoría (*holismo*) debe hacerse de un modo *puramente deductivo*, sin apelar adicionalmente a la experiencia, partiendo de unos *principios* (unas *proposiciones* que articulan entre si los *conceptos* (ideas) *fundamentales*, matemáticos y físicos) que presentan la imagen *más simple* que la física puede producir de las cosas y de los procesos del mundo sensible. Así, cambiando las proposiciones que tomamos como fundamentales, obtendremos, consecuentemente, varias *representaciones* de los principios de la mecánica, y sus correspondientes imágenes de las cosas, las cuales podemos comparar, y elegir entre ellas, mediante los tres criterios referidos (PM, 4).

Hertz analiza tres imágenes de la mecánica. La primera es la de *Galileo-Newton-Lagrange.* Los conceptos fundamentales son los de *espacio*, *tiempo*, *masa* y *fuerza*. Las relaciones fundamentales son las leyes de Newton y el principio de d'Alembert (para las conexiones fijas de los cuerpos). Hertz muestra que el concepto de fuerza viola el criterio de clareza lógica y el de simplicidad y adecuación. La segunda imagen, del final del siglo XIX, es la "*energetista*", de la mecánica *hamiltoniana*, basada en el principio de la conservación de la energía. Las cuatro ideas fundamentales son: dos matemáticas (*espacio* y *tiempo*) y dos físicas (*masa* y *energía*). La fuerza es una idea *derivada*, cuya definición no tiene relación directa con la experiencia. La ley fundamental es el Principio de Hamilton. Este principio e el concepto de energía violan los criterios de corrección y admisibilidad lógica, atribuyendo a la naturaleza inanimada intenciones *metafísicas*, vacías de sentido.

La tercera *imagen* es la *de Hertz*. Los conceptos fundamentales son tres: *espacio*, *tiempo* y *masa*, determinados por experiencias sensibles, pelo no la

fuerza, que es un concepto *derivado*. A los tres conceptos adiciona la "hipótesis" de las "masas ocultas", con movimientos ocultos, no perceptibles por la experiencia habitual. Pero ¿no introduce también esta hipótesis conceptos oscuros y metafísicos, análogos a los de *fuerza* y *energía*, de las otras dos representaciones, con inevitable pérdida de simplicidad? Contestando, Hertz, aunque admitiendo que estos *dos* conceptos y *su hipótesis* son creados por nuestra *imaginación*, entiende que los primeros están asociados a entidades de un tipo especial y peculiar, contrariamente a su hipótesis. Consecuentemente, concluye:

> Podemos admitir que hay algo oculto en acción y, sin embargo, negar que ese algo pertenezca a una categoría especial [fuerza y energía]. Somos *libres* de suponer que este algo oculto *no es otra cosa que* movimiento y masa; movimiento y masa que difieren de los visibles no *en sí mismos* [ontológicamente], sino *en relación con nosotros* y con nuestros medios habituales de percepción [epistemológicamente] (PM, 25; cursivas nuestras).

Es decir, las masas ocultas no violan el criterio de permisibilidad lógica, pues tienen las mismas propiedades de las masas visibles. Así, para Hertz "es posible adicionar a la masa visible del universo otras masas que obedecen a las *mismas leyes*. [...] y lo que estamos acostumbrados a llamar de fuerza y energía, "no sería más que un efecto de masa y movimiento" (PM, 26). De esta forma, Hertz obtiene una *imagen completa*, cerrada en sí y *conforme a leyes*, entendiendo él, a la vez, que "la variedad del mundo real precisa de ser mayor que el mundo revelado por los sentidos" (PM, 25).

De la existencia, en los sistemas naturales, de ciertas *conexiones* puramente espaciales independientes del tiempo, Hertz retira *una* única *relación fundamental*, análoga a la ley habitual de la inercia (pero incluyendo al Principio de Gauss de restricción mínima): "*Todo movimiento natural de un sistema material independiente consiste en que el sistema sigue, con velocidad uniforme, uno de sus caminos más rectilíneos*" (PM, 27). Finalmente, juntando ley fundamental, las masas ocultas y las conexiones, se obtiene *todo el contenido de la mecánica* por un proceso puramente *deductivo*. La fuerza y la energía son

ahora construcciones matemáticas auxiliares, cuyas propriedades generales se siguen *lógicamente* de la ley fundamental (PM, 28).

Para Hertz, el *contenido* físico y *forma* matemática de la imagen son *independentes*, aunque bien articulados entre sí, siendo el primer físico que estructura la mecánica mediante una geometría riemanniana de *sistemas de puntos* dotados de conexiones (que son inmediatos a la experiencia real), en vez de puntos simples (que son abstracciones).

Si es cierto que la imagen hertziana de la mecánica obedece a los tres criterios, Hertz reconoce, sin embargo, que su plusvalía es la sujeción al primer de ellos: la admisibilidad lógica. Hertz reconoce también una *frontera* para su teoría, *limitándola* a la naturaleza inanimada, pues le parece demasiado simple y estrecha para aplicarla a procesos vitales elementales (intenciones y sensaciones de placer y dolor), que son más ricos y variados. Así, se evita un reduccionismo mecánico de los procesos vitales. Todavía, para Hertz, ello no constituye una desventaja de su ley fundamental, sino una ventaja que muestra los *límites* del dominio de la mecánica, que "al darnos solo hecho desnudos, sin atribuirles ninguna apariencia de necesidad, nos permite reconocer que todo podría ser de otro modo" (PM, 38).

6. Conclusión

El legado científico-filosófico de Hertz es extraordinario, no sólo por la aceptación en física del paradigma teórico de los campos electromagnéticos y sus consecuencias para la cultura actual, sino también por su comprensión de la filosofía de la ciencia.

La elegancia, claridad lógica y simplicidad de la mecánica hertziana, aunque admirada por físicos, fue olvidada cerca de una década después, en virtud de los trabajos sobre el éter y la descubierta de la relatividad. Es cierto que Hertz había identificado el éter como el problema conceptual más fundamental a solucionar por la física y, a la vez, la clave para entender los conceptos de masa, electromagnetismo y gravedad. Por ello, mantuvo hasta la muerte la convicción de su existencia, creyendo que sus *Principios* contribuirían para el programa del éter, como etapa previa para tratar de su naturaleza y funciones (Mulligan, 2001). Pero, la teoría de la relatividad indicó otro camino.

En cambio, la filosofía hertziana de la ciencia tuvo una influencia y alcance hasta nuestros días. Siendo la *multiplicidad* de las teorías-imagen meras representaciones de una estructura legal de las relaciones causales de objectos reales, ellas no dicen como es *ontológicamente* la naturaleza, sino como la vestimos para *conocer correctamente* las *previsiones* experimentales, sin ambigüedad. Así se comprende que las experiencias testen la *corrección* (*validad*) y no la *veracidad* de una teoría como un todo (PM, 141-42). No hay, pues, una correspondencia biunívoca entre todos los conceptos teóricos y algo observable, porque la teoría es simplemente *una* imagen entre otras posibles. En este sentido, se da una pérdida del mundo en la imagen. Pero, además, Hertz admite aún que la explicación completa de los fenómenos del mundo material comprendería, no solo su explicación mecánica o física, sino también *explicaciones* que están *más allá* del dominio de la física (PM, 145), estableciendo, así, una delimitación entre física y metafísica.

Bibliografía

Abrantes, P. C. C. (1992): «A Filosofia da Ciência de Heinrich Hertz (1857-94)», en F. Évora (ed.), *Século XIX: O Nascimento da Ciência Contemporânea*, Campinas, Unicamp, pp. 351-75.

Baird, D., Hughes, R. I. G., Nordmann, A. (eds.) (1998): *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher*, Dordrecht, Kluwer.

Braithwaite, R. B. (1953): *Scientific Explanation*, Cambridge, Cambridge Univ. Press.

Buchwald, J. (1994): *The Creation of Scientific Effects. Heinrich Hertz and Electric Waves*. Chicago, University of Chicago Press.

D'Agostino, S. (1998): «Hertz's View on the Methods of Physics: Experiment and Theory Reconciled? », en D. Baird et al. (eds.), *Heinrich Hertz. Classical Physicist, Modern* Philosopher, Dordrecht, Kluwer, pp. 89-102.

— (2000): *A History of the Ideas of Theoretical Physics. Essays on the Nineteenth Century Physics*, Dordrecht, Kluwer.

Doncel, M. (1998): «On Hertz's Conceptual Conversion: From Wire Waves to Air Waves», en D. Baird *et al.* (eds.), *Heinrich Hertz. Classical Physicist, Modern Philosopher*, Dordrecht, Kluwer, pp. 73-87.

Doncel, M., Roqué, X. (1990): *Las Ondas Electromagnéticas*, 2 vols., Barcelona, Universitat Autònoma de Barcelona.

Hertz, H. (1896): *Miscellaneous Papers* [Misc.], London, Macmillan.

— (1956): *The Principles of Mechanics* [PM], New York, Dover Publications. New introduction by Robert S. Cohen (unpaginated pp. i-xx), preface by Hermann von Helmholtz (unpaginated pp. xxiii-xxxvi). [primera ed. alemana en 1894.]

— (1962): *Electric Waves* [EW], New York, Dover Publications. Preface by Lord Kelvin. [first published in 1892.]

Hertz, J. (ed.) (1977): *Heinrich Hertz: Erinnerungen, Briefe, Tagebiicher/Memoirs, Letters, Diaries* [MLD], Weinheim, Physik Verlag/San Francisco, San Francisco Press. Second enlarged edition. [primera ed. alemana en 1927.]

Lützen, J. (2005): *Mechanistic Images in Geometric Form. Heinrich Hertz's Principles of Mechanics*. Oxford, Oxford University Press.

Mulligan, J. F. (2001): «The Aether and Heinrich Hertz's *The Principles of Mechanics Presented in a New Form*», en *Phys. perspect*., vol. 3, 136-164.

Nordmann, A. (1998): «"Everything could be different": The *Principles of Mechanics* and the limits of physics», en D. Baird et al. (eds.), *Heinrich Hertz. Classical Physicist, Modern Philosopher,* Dordrecht, Kluwer, pp. 155-171.

— (2000): «Heinrich Hertz: Scientific Biography and Experimental Life», en *Stud. Hist. Phil. Sci.*, vol. 31, No. 3, pp. 537-549.

Videira, A. A. P., Coelho, R. L. (eds.) (2012): *Física, mecânica e filosofia: o legado de Hertz*. Rio de Janeiro, EdUERJ.

Coelho, R.L. (2012): «Sobre os Princípios de mecânica de Hertz: problemas, solução e interpretações», en A. Videira, R. Coelho (eds.): *Física, mecânica e filosofia: o legado de Hertz.* Rio de Janeiro, EdUERJ, pp. 17-46.

Schiemann, G. (1998): «The Loss of World in the Image», en D. Baird et al. (eds.), *Heinrich Hertz. Classical Physicist, Modern Philosopher*, Dordrecht, Kluwer, pp. 25-38.

Simões, E. (2019): «O Papel da Noção de Representação na Conceção de Ciência de Heinrich Hertz», en *Veritas*, Porto Alegre, vol.64, N.2, Abr-Jun, pp. 1-22.

Álvaro Balsas, SJ
abalsas@jesuits.net